



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 40 204.3

Anmeldetag: 28. August 2002

Anmelder/Inhaber: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
Köln/DE;
ESM Andersen Instruments GmbH, Erlangen/DE

Erstanmelder: Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V., Köln/DE

Bezeichnung: Verfahren zur optischen Messung von schwarzem
Kohlenstoff in der Atmosphäre und Einrichtung zur
Durchführung des Verfahrens

IPC: G 01 N 21/59

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. August 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely of the President of the German Patent and Trade Mark Office.

Kloster 10/07

Dipl.-Ing. A. v. Kirschbaum
Patentanwalt

D-82110 Germering
Waldstraße 2b
Telefon: (089) 89 42 73 22

Anwaltsakte: DFO-10276

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Höhe
51147 Köln

Verfahren zur optischen Messung von schwarzem Kohlenstoff
in der Atmosphäre und Einrichtung zur Durchführung
des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Messung von schwarzem Kohlenstoff in der Atmosphäre sowie eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

5 Schwarzer Kohlenstoff (Ruß) stellt die Leitkomponente für partikelförmige Emissionen aus unvollständigen Verbrennungsprozessen dar. Diese Emissionen sind in Deutschland wegen ihrer gesundheitsschädigenden Wirkung durch eine Verordnung auf einen Jahresmittelwert von $8\mu\text{gm}^{-3}$ begrenzt.

10

Bisher ist die Messung des schwarzen Kohlenstoffs in der Luft durch ein thermisches Verfahren nach VDI 2465 Blatt 1/2 vorgeschrieben. In dieser VDI-Richtlinie sind für Deutschland thermische Verfahren als Referenzverfahren für die Immissionsmessung des schwarzen Kohlenstoffs festgelegt. Mit Hilfe dieses
15 Verfahrens werden Tages- oder Wochenfilter analysiert. Damit ist man allerdings nicht in der Lage, zeitlich aufgelöste Messdaten zu liefern.

20 Zur optischen Messung des schwarzen Kohlenstoffs wird bisher das luftgetragene Aerosol auf einem Einzelfilter oder einem Filterband deponiert. Die Veränderung der optischen Eigenschaften der partikelbeladenen Filtermatrix gegenüber der partikelfreien Matrix wird entweder in Transmission (TRANS) oder
25 in Reflexion (REF) bestimmt. Aus der Veränderung der Filterschwärzung durch die Partikelbeladung wird über eine einfache, vom Lambert-Beer'schen Gesetz abgeleitete Beziehung auf die Massenbeladung an absorbierendem Material rückgeschlossen.

30

$$TRANS = -100 \ln \frac{T}{T_0} = \sigma_{TRANS} S_{BC} \quad (1a)$$

$$REF = -100 \ln \frac{R}{R_0} = 2 \sigma_{REF} S_{BC} \quad (1b)$$

Hierbei bezeichnen T und T₀ bzw. R und R₀ die Transmissivitäten und Reflektivitäten der partikelbeladenen (kein Index) und der partikelfreien (Index 0) Filtermatrix. Mit S_{BC} wird die flächenspezifische Beladung des Filters mit schwarzem Kohlenstoff (in µgcm⁻²) bezeichnet, σ_{ATN} sowie σ_{REF} sind die Proportionalitätsfaktoren zwischen der Filterbeladung S_{BC} und der Lichtabschwächung aufgrund der Partikelbeladung in Durchlicht (σ_{TRANS}) bzw. in Reflexion (σ_{REF}). Vielfachstreuungseffekte im Aerosol oder zwischen Partikeln und Filtermatrix werden vernachlässigt.

In US 4,893,394 ist ein Aethalometer beschrieben, in welchem eine Lichtquelle und ein einziger Lichtdetektor sowie zwei Lichtwege von der Lichtquelle zu dem Lichtdetektor vorgesehen sind. Ferner ist ein Quarzfaserfilter vorgesehen, dessen Aufnahme­fläche in dem einem Lichtweg liegt, während der andere Lichtweg als Referenzbereich dient. Durch den Aufnahmebereich des Filters wird Umgebungsluft geleitet, so dass sich Aerosolpartikel auf dem Filter absetzen können. In dem Aethalometergehäuse ist eine rotierenden Scheibe mit einer Öffnung vorgesehen, so dass alternierend Licht von der Lichtquelle die beiden Lichtwege durchläuft. Die Ausgangsspannung des unter dem Filter angeordneten Detektors wird an einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO) angelegt. Die Pulse zur Bestimmung der Lichttransmission, die gesondert durch die beiden Lichtwege geleitet werden, werden gezählt und verglichen; daraus wird dann der Absorptionskoeffizient der abgeschiedenen Aerosolpartikel bestimmt.

Bei dem bekannten Aethalometer werden die Partikel auf ein Filter bzw. Filterband abgeschieden; damit ist man in der Lage, die Massenkonzentration des schwarzen Kohlenstoffs über einen längeren Zeitraum, je nach Konzentration bis zu mehreren Monaten, zu bestimmen. Da bei dem bekannten Aethalometer Vielfachstreueneffekte nach Gl. (1a) vernachlässigt werden, besteht aufgrund des angewendeten Messprinzips eine Abhängigkeit der ermittelten Massenkonzentration des schwarzen Kohlenstoffs von den lichtstreuenden Aerosolkomponenten. Diese Querempfindlichkeit kann zu deutlichen Verfälschungen der Messwerte führen. Außerdem ist der Lufteinlass nicht für größere Partikeldurchmesser geeignet.

Zum Bestimmen des Gehalts an schwarzem Kohlenstoff in atmosphärischen Aerosolproben ist ein optischer Aufbau vorgestellt worden, mit welchem gleichzeitig transmittierte und reflektierte Strahlung gemessen werden kann. (Siehe: Petzold, A. and H. Kramer, An improved aerosol absorption photometer for the determination of black carbon in ambient aerosol, Journal of Aerosol Science, 32, S.37-38, 2001) Hierbei werden Aerosolpartikel auf einem Filterband abgeschieden und der mit Aerosolpartikel belegte Bereich wird mit einer LED beleuchtet. Sowohl in dem Bereich zwischen der als Beleuchtungsquelle dienenden Photodiode und dem Filterband als auch unter dem Filterband sind Photodetektoren angeordnet, so dass gleichzeitig sowohl durch das Filterband transmittierte Lichtanteile als auch von dem Filterband reflektierte Lichtanteile gemessen werden können.

Aufgabe der Erfindung ist es, das Messen und damit das Bestimmen von transmittierten und reflektierten Lichtanteilen so zu verbessern, dass dadurch eine bessere Signalmittelung über eine ausgedehnte Fläche erreicht wird.

Gemäß der Erfindung ist diese Aufgabe durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Verfahrensanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind Gegenstand der auf den Anspruch 1 unmittelbar oder mittelbar rückbezogenen Ansprüche. Ferner ist eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens angegeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein mit Aerosolpartikeln belegter Flächenbereich eines Filterbandes kontinuierlich von einer Beleuchtungsquelle mit Licht bei einer oder mehreren Wellenlängen beleuchtet. Ferner werden transmittierte und reflektierte Lichtanteile unter mehreren genau festgelegten Winkeln bzw. Winkelbereichen, die vorzugsweise bei 0° , 120° bis 140° und von 165° bis 180° liegen, mittels entsprechend angeordneter Photodetektoren relativ zur Beleuchtungsquelle gemessen, wodurch eine maximale Symmetrie für zu messende Winkel erzielt wird. Die Belegung des Flächenbereichs des Filterbandes mit lichtabsorbierendem Aerosolmaterial wird aus der durch die Belegung hervorgerufene Veränderung der optischen Eigenschaften des mit Aerosolpartikeln belegten Flächenbereichs mit Hilfe bekannter Algorithmen kontinuierlich aus den ermittelten Transmissitäten und Reflektivitäten bestimmt.

Gemäß der Erfindung sind zum Messen von transmittierten und reflektierten Lichtanteilen die Photodetektoren unter genau festgelegten Winkeln bzw. Winkelbereichen von 0° , 120° bis 140° und 165° bis 180° einander gegenüberliegend, vorzugsweise in ringförmigen Halterungsvorrichtungen untergebracht, die konzentrisch bezüglich der optischen Achse der mindestens einen Beleuchtungsquelle angeordnet sind. Aufgrund der dadurch erreichten maximalen Symmetrie in der gemäß der Erfindung vorgesehenen Mehrwinkelmessanordnung für die zu messenden Winkelbereiche wird insgesamt eine bessere Signalmittelung über eine

ausgedehnte Filterfläche bei einem sehr kompakten Aufbau der Messeinrichtung in Form eines Messkopfes erzielt.

5 Zur Reduzierung von Streulicht sind die ringförmig ausgebildeten Halterungsvorrichtungen, in denen die einander gegenüberliegenden Photodetektoren untergebracht sind, vorzugsweise in zwei unterschiedlichen Ebenen festgelegt.

10 Anstelle einer beispielsweise bei dem bekannten Aethalometer vorgesehenen Referenzstrecke wird gemäß der Erfindung die Lichtintensität der Beleuchtungsquelle kontinuierlich dadurch gemessen, dass der Beleuchtungsquelle ein Photodetektor zugeordnet ist.

15 Ferner ist im Messkopf ein Bestäubungskanal so ausgebildet, dass eine kontinuierliche Bestäubung des Filterbandes gewährleistet ist. Über diesen Bestäubungskanal können auch größere Partikel ($> 10\mu\text{m}$) auf das Filterband gelangen. Darüber hinaus können zur Größenselektion der Partikel vor dem Bestäubungskanal extern Vorabscheider angeordnet sein.

25 Bei einer Messung mit nur einer Wellenlänge wird eine schmalbandige Lichtquelle, wie eine farbige Leuchtdiode eingesetzt. Bei einer Messung bei mehreren Wellenlängen wird eine breitbandige Lichtquelle eingesetzt und ein Bandfilter vor einzelnen Detektoren vorgesehen.

Nachfolgend wird die Erfindung im einzelnen beschrieben. Es zeigen:

30 Fig.1 in einer vertikalen Schnittansicht eine Ausführungsform einer Einrichtung in Form eines Messkopfes für eine Wellenlänge;

Fig.2 eine stark vereinfachte perspektivische Darstellung einer Messanordnung;

5 Fig.3 ein Diagramm der Winkelverteilung von in den beiden Halbräumen gestreuten Strahlungen in Abhängigkeit von der Zusammensetzung eines Aerosols;

10 Fig.4 eine graphische Darstellung des Verhältnisses der Signale bei unterschiedlichen Beobachtungswinkeln θ ;

15 Fig.5 eine graphische Darstellung eines Signalverhältnisses von Detektoren unter Beobachtungswinkeln $\theta = 130^\circ$ bzw. 100° in Abhängigkeit vom Anteil diffus gestreuter Strahlung, und

20 Fig.6 eine graphische Darstellung von Messgrößen TRANS (Transmission), REF (Reflektion) bzw. ABS (Mehrwinkelabsorptionsmessung) als Funktion einer gemessenen Beladung des Filters mit schwarzem Kohlenstoff.

25 In Fig.1 ist schematisiert eine Einrichtung in Form eines in seiner Gesamtheit mit 1 bezeichneten Messkopfes dargestellt. Im oberen Teil eines Messkopfgehäuses 10 ist als Beleuchtungsquelle eine LED 2 beispielsweise für eine Wellenlänge $\lambda=670\text{nm}$ vorgesehen. Zur Überwachung der Lichtintensität ist zur Kontrolle der LED 2 ein Photodetektor 3 zugeordnet. Im mittleren Bereich des oberen Gehäuseteils 10 sind zum Messen zurückgestreuter (reflektierter) Strahlung zwei Photodetektoren 4 und
30 etwas tiefer zwei weitere Photodetektoren 5 vorgesehen.

Zwischen dem oberen Messgehäuseteil 10 und einem unteren Messgehäuseteil 11 ist ein durch eine stark ausgezogene Linie an-

gedeutetes Filterband 6 vorgesehen. In dem unteren Gehäuseteil 11 ist unterhalb des Filterbandes 6 ein weiterer Photodetektor 9 zum Messen bzw. Erfassen von transmittierter Strahlung angeordnet. Ferner ist im unteren Bereich des oberen Gehäuseteils 5 10 ein Bestäubungskanal 12 vorgesehen, der so ausgebildet ist, dass eine kontinuierliche Bestäubung des Filterbandes 6 gewährleistet ist.

Wie der stark vereinfachten perspektivischen Darstellung von 10 Fig.2 zu entnehmen ist, sind unterhalb der Beleuchtungsquelle in Form der LED 2 zum Erfassen von rückgestreuter Strahlung auf einer ersten ringförmigen Halterungsvorrichtung 7₁ vorzugsweise in gleichen Winkelabständen voneinander vier Photodetektoren 4₁ bis 4₄ vorgesehen, während etwas tiefer auf einer 15 zweiten ringförmigen Halterungsvorrichtung 7₂ ebenfalls vier Photodetektoren 5₁ bis 5₄ vorgesehen sind.

In Fig.2 befindet sich auf dem Filterband 6 ein mit Aerosolpartikeln belegter Flächenbereich 8. Unterhalb der Filterbandes 6 ist der Photodetektor 9 für transmittierte Strahlung 20 vorgesehen. In der perspektivischen Darstellung sind die reflektierte Strahlung betreffenden Winkel, und zwar die Winkel $\theta = 0^\circ$; $\theta_1 = 130^\circ$ und $\theta_2 = 165^\circ$ eingetragen.

25 In den beiden ringförmigen Halterungsvorrichtungen 7₁ und 7₂ sind immer zwei Photodetektoren einander gegenüberliegend angeordnet, beispielsweise in der ersten ringförmigen Halterungsvorrichtung 7₁ die Photodetektoren 4₁ und 4₃ bzw. 4₂ und 4₄ sowie in der tiefer angeordneten, zweiten ringförmigen Halterungsvorrichtung 7₂ die Photodetektoren 5₁ und 5₃ bzw. 5₂ und 30 5₄. Wie Fig.2 zu entnehmen ist, sind die ringförmigen Halterungsvorrichtungen 7₁ und 7₂ konzentrisch zu der strichpunkt-

tiert angedeuteten optischen Achse des Messkopfes 1 angeordnet.

Auf Grund dieser Anordnung der Photodetektoren 4 bzw. 5 in Form von jeweils zwei einander gegenüberliegenden Detektoren ist bezüglich der Beleuchtungsquelle in Form der LED 2 eine maximale Symmetrie hinsichtlich der Winkelmessanordnung für die zu messenden Winkelbereiche erzielt. Auf diese Weise ist bei einem sehr kompakten Aufbau des Messkopfes eine bessere Signalmittelung über dem ausgedehnten Flächenbereich 8 auf dem Filterband 6 erreicht.

Die optimale Position der Detektoren 4, 5 zur Ermittlung der gesamten transmittierten und zurückgestreuten Strahlung wurde aus der Analyse der Winkelverteilung der belegten Filter ermittelt. Diese Analyse zeigte, dass die Winkelverteilungen durch eine Linearkombination aus einem Anteil einer diffus gestreuten Strahlung und einem Anteil einer an einer rauhen Oberfläche gespiegelten Strahlung dargestellt werden können. Die parameterisierten Winkelverteilungen lassen sich darstellen als

$$S(\theta) = I \cos \theta$$

(2a)

(für den vorderen Halbraum, $\theta = 0-90^\circ$)

und

$$S(\theta) = I \left(\alpha \cos \theta + (1 - \alpha) \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{\theta^2}{\sigma^2} \right] \right) \quad (2b)$$

(für den rückwärtigen Halbraum $\theta = 90-180^\circ$)

Hierbei bezeichnen α den Anteil diffus gestreuter Strahlung und σ die Rauigkeit der Filteroberfläche (Siehe hierzu auch Fig.3). In Fig.3 ist die Winkelverteilung der in den vorderen Halbraum ($\theta = 0 - 90^\circ$) und in den rückwärtigen Halbraum ($\theta = 90 - 180^\circ$) gestreuten Strahlung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Aerosols wiedergegeben. Hierbei ist die Aerosolzusammensetzung angegeben als Anteil der Licht absorbierenden Komponenten schwarzer Kohlenstoff (Black Carbon; BC) an der Gesamtmasse. In dem Graphen ist auf der Abszisse der Streuwinkel θ in Grad und auf der Ordinate die normierte Streuintensität aufgetragen.

Die Positionierung eines Detektors bei $\theta_1 = 130^\circ$ erlaubt die Unterscheidung zwischen diffus gestreuter und gespiegelter Strahlung mit größtmöglicher Auflösung (siehe Fig.4). In Fig.4 ist auf der linksseitigen Achse/Ordinate das Verhältnis der Signale bei den Beobachtungswinkeln θ und $\theta = 165^\circ$ als Funktion des diffusen Anteils an der Streustrahlung und auf der rechten Y-Achse/Ordinate die Differenz der Signalverhältnisse für vollständig diffuse und vollständig reflektierte Strahlung als Funktion des Beobachtungswinkels θ aufgetragen.

Der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Signalverhältnis $S(\theta_1)/S(\theta_2)$ und dem diffusen Anteil an der rückgestreuten Strahlung ist linear (Siehe Fig.5). In Fig.5 ist das Signalverhältnis der Detektoren unter dem Beobachtungswinkeln 130° bzw. 100° und 165° in Abhängigkeit vom Anteil der diffusen Streuung wiedergegeben. Hierbei ist auf der Abszisse der Anteil α an diffuser Streuung und auf der Ordinate das Verhältnis $S(\theta)/S(165^\circ)$ aufgetragen.

Somit lässt sich aus dem gemessenen Signalverhältnis der diffuse Anteil α eindeutig ermitteln. Mit der Bestimmung des Parameters α kann schließlich die gesamte, in den rückwärtigen Halbraum gestreute Strahlung aus Gl.(2b) berechnet werden. Für die Ermittlung der in den vorderen Halbraum transmittierten Strahlung nach Gl.(1) genügt eine Messung bei $\theta = 0^\circ$.

Die so ermittelten Gesamtintensitäten sind für den vorderen Halbraum

$$I_t = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(\theta=0^\circ) \cos \theta d\theta = 2S(\theta=0^\circ) \quad (3)$$

und für den rückwärtigen Halbraum

$$\begin{aligned} I_t &= \alpha \int_{\pi/2}^{3\pi/2} S(\theta=180^\circ) \cos \theta d\theta + (1-\alpha) \int_{\pi/2}^{3\pi/2} S(\theta=180^\circ) \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{\theta^2}{\sigma^2}\right] d\theta \\ &= S(\theta=180^\circ) (2\alpha + (1-\alpha) \sqrt{2\pi} \sigma) \end{aligned} \quad (4)$$

15

Aus diesen Strahlungsintensitäten wird die durch die deponierten Partikel hervorgerufene Lichtabsorption über einen bekannten Algorithmus bestimmt. (Siehe Hänel G., Radiation budget of the boundary layer, Part II, Simultaneous Measurement of mean solar volume absorption and extinction coefficient of particles, Phys. Atmosph., 60, 241-247, 1987) Der Algorithmus liefert als Resultat die optische Dicke τ_L des mit den Partikeln belegten Filters und das Verhältnis ω_0 von Lichtstreuung zu Lichtextinktion (Einfachstreueralbedo) am belegten Filter. Aus diesen Parametern wird schließlich die Massenbelegung des Filters mit lichtabsorbierendem Aerosol S_{BC} bestimmt über

$$ABS = 100(1 - \omega_0) \tau_L = \sigma_{ABS} S_{BC} \quad (5)$$

Der Parameter σ_{ABS} kann durch die Kalibrierung des Verfahrens gegen eine chemische Methode zur Ermittlung des schwarzen Kohlenstoffs (z.B. VDI 2465, Part 1) im Aerosol ermittelt werden.

Anwendungsbeispiel

Das beschriebene Verfahren wurde angewendet auf die Bestimmung des schwarzen Kohlenstoffs in einem Gemisch aus Licht streuenden (Kochsalz NaCl) und absorbierenden (schwarzer Kohlenstoff BC) Komponenten. Der Massenanteil des schwarzen Kohlenstoffs variierte zwischen 1% und 100%. Bei einem idealen Verfahren ist die durch die Partikelbeladung des Filters hervorgerufene Änderung der optischen Filtereigenschaften (Transmissivität, Gl.(1a), Reflektivität Gl.(1b), Absorptionsstärke Gl.(5)) der Beladung des Filters mit schwarzem Kohlenstoff direkt proportional und wird damit durch eine Ursprungsgerade dargestellt.

In Fig.6 ist die Beziehung zwischen den Messgrößen *TRANS*, *REF* bzw. *ABS* und der unabhängig nach VDI 2465, Blatt 1 gemessenen Beladung des Filters mit schwarzem Kohlenstoff für eine Transmissionsmessung (*TRANS*), Reflektivitätsmessung (*REF*) und für die beschriebene Methode (*ABS*) dargestellt.

25

Tabelle 1 gibt die zugehörigen Resultate der Korrelationsanalyse wieder. Die vorstehend beschriebene Mehrwinkelabsorptionsmessung weist somit eine hohe Korrelation bei gleichzeitigem Nulldurchgang der Regressionsgeraden auf. Die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Methoden zeigen entweder eine starke Streuung der Messwerte (Transmission) oder einen signifikant von Null verschiedenen Achsenabschnitt (Re-

flektivität). Damit ist die zu erwartende Verbesserung der Bestimmung des schwarzen Kohlenstoffs in der Luft durch die beschriebene Mehrwinkelabsorptionsmessung belegt werden.

- 5 In der nachfolgenden Tabelle 1 ist eine Korrelationsanalyse des Zusammenhang zwischen der Messgröße der Transmissionsmessung (*TRANS*), Reflektivitätsmessung (*REF*) und Mehrwinkelabsorptionsmessung Methode (*ABS*) und der nach VDI 2465, Blatt 1 gemessenen Beladung des Filters mit schwarzem Kohlenstoff wiedergegeben.

Tabelle 1

	<i>TRANS</i>	<i>REF</i>	<i>ABS</i>
n	28	28	28
r^2	0,62	0,89	0,91
Achsenabschnitt	0	$17,3 \pm 4,5$	0
Steigung	$7,2 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,1$

- 15 Weitere Gebiete für eine gewerbliche Anwendung sind:
eine kontinuierliche Kontrolle der Massenkonzentration des schwarzen Kohlenstoffs in Immission in Umweltmessnetzen,
eine Messung der Emission von schwarzem Kohlenstoff aus Verbrennungsprozessen (Kfz-Motore, Flugzeugtriebwerke, Feuerungsanlagen),
20 eine Arbeitsplatzüberwachung, beispielsweise in Werkshallen, an LKW-Laderampen, bei Schiffsverladungen);
eine Lüftungskontrolle, beispielsweise in Werkshallen oder Tunneln in Form einer Tunnelüberwachung.

Bezugszeichenliste:

- | | | |
|----|--------------------------------------|--|
| | 1 | Messkopf |
| | 2 | LED |
| 5 | 3 | Photodetektor |
| | 4, 4 ₁ bis 4 ₄ | Photodetektoren |
| | 5, 5 ₁ bis 5 ₄ | Photodetektoren |
| | 6 | Filterband |
| | 7 ₁ , 7 ₂ | ringförmige Halterungsvorrichtung |
| 10 | 8 | Flächenbereich |
| | 9 | Photodetektor |
| | 10 | Messkopfgehäuse |
| | 11 | unterer Messgehäuseteil |
| | 12 | Bestäubungskanal |
| 15 | 20, 21 | Einheiten zum Bestimmen
der Belegung des Filterbandes |

Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Messung von schwarzem Kohlenstoff
in der Atmosphäre, wobei Aerosole aus einem Luftstrom auf ei-
nem Filterband abgeschieden werden, der mit Aerosolpartikel
belegte Bereich beleuchtet wird, und mittels Photodetektoren
sowohl durch das Filterband transmittierte Lichtanteile als
auch von dem Filterband reflektierte Lichtanteile gleichzeitig
gemessen werden, dadurch **gekennzeichnet**, dass
der mit Aerosolpartikeln belegte Flächenbereich des Filterban-
des kontinuierlich von einer Beleuchtungsquelle mit Licht bei
einer oder mehreren Wellenlängen beleuchtet wird;
die transmittierten und reflektierten Lichtanteile unter meh-
reren genau festgelegten Winkeln bzw. Winkelbereichen mittels
entsprechend angeordneter Photodetektoren relativ zur Beleuch-
tungsquelle gemessen werden, wodurch eine maximale Symmetrie
für zu messende Winkel erzielt wird, und
die Belegung des Flächenbereichs des Filterbandes mit Licht
absorbierendem Aerosolmaterial aus der durch die Belegung her-
vorgerufenen Veränderung der optischen Eigenschaften des Flä-
chenbereichs mit Hilfe bekannter Algorithmen kontinuierlich
aus ermittelten Transmissitäten und Reflektivitäten bestimmt
wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass die
transmittierten und die reflektierten Lichtanteile unter Win-
keln bzw. Winkelbereichen von 0°, 120 bis 140° und 165 bis
180° gemessen und anschließend gemittelt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei Messen mit nur einer Wellenlänge eine schmalbandige Lichtquelle eingesetzt wird.

5 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass als schmalbandige Lichtquelle eine farbige Leuchtdiode verwendet wird.

10 5. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei Messen mit mehreren Wellenlängen eine breitbandige Lichtquelle verwendet wird und Bandfilter vor den einzelnen Lichtdetektoren eingesetzt werden.

15 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, dass kontinuierlich die Lichtintensität der Beleuchtungsquelle gemessen und bestimmt wird.

20 7. Einrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, in Form eines Messkopfes (1) mit einer über einem Filterband (6) angeordneten Beleuchtungsquelle (2), mit einem Photodetektor (7) unter dem Filterband (6) zum Messen der transmittierten Lichtanteile und mit im Bereich zwischen Beleuchtungsquelle (2) und dem Filterband (6) angeordneten Photodetektoren (4, 5) zum Messen der reflektierten Lichtanteile, dadurch **gekennzeichnet**, dass jeweils mindestens zwei der zwischen Beleuchtungsquelle (2) und Filterband (6) angeordneten Photodetektoren (4₁, 4₃; 4₂, 4₄; 5₁, 5₃; 5₃, 5₄) bezogen auf die optische Achse der Lichtquelle (2) einander gegenüberliegend in ringförmigen Halterungsvorrichtungen (7₁, 7₂) vorge-

25

30 sehen und unter genau festgelegten Winkeln bzw. Winkelbereichen θ von 0°, 120 bis 140° und 165 bis 180° bezüglich der Filterband-Oberfläche ausgerichtet sind, und

dem Photodetektor (9) unter dem Filterband (6) sowie den einander gegenüberliegend angeordneten Photodetektoren (4, 5) Einheiten (20, 21) zum Bestimmen der Belegung des Filterbandes mit Licht absorbierendem Material nachgeordnet sind.

5

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Reduzierung von Streulicht die einander gegenüberliegend vorgesehenen Photodetektoren (4, 5) auf in zwei unterschiedlichen Ebenen liegenden ringförmigen Halterungsvorrichtungen (7₁, 7₂) untergebracht sind.

10

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Überwachen der Lichtintensität der Beleuchtungsquelle eine Lichtdiode (3) vorgesehen ist.

15

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Messkopf (1) ein Bestaubungskanal (12) so ausgebildet ist, dass neben einer kontinuierlichen Bestäubung des Filterbandes (6) auch größere Partikel (> 10µm) auf das Filterband gelangen.

20

11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass zur Größenselektion der Partikel vor dem Bestaubungskanal (12) ein Vorabscheider vorgesehen ist.

Zusammenfassung

5

Zur optischen Messung von schwarzem Kohlenstoff in der wird ein mit Aerosolpartikeln belegter Flächenbereich eines Filterbandes kontinuierlich von einer Beleuchtungsquelle mit Licht bei einer oder mehreren Wellenlängen beleuchtet. Transmittierte und reflektierte Lichtanteile werden unter mehreren genau festgelegten Winkeln bzw. Winkelbereichen, wie 0° , 120 bis 140° und 165 bis 180° mittels entsprechend angeordneter Photodetektoren relativ zur Beleuchtungsquelle gemessen, wodurch eine maximale Symmetrie für zu messende Winkel erzielt wird.

10

15

Die Belegung des Flächenbereichs des Filterbandes mit Licht absorbierendem Aerosolmaterial wird aus der durch die Belegung hervorgerufenen Veränderung der optischen Eigenschaften des Flächenbereichs mit Hilfe bekannter Algorithmen kontinuierlich aus ermittelten Transmissitäten und Reflektivitäten bestimmt.

20

Fig.1

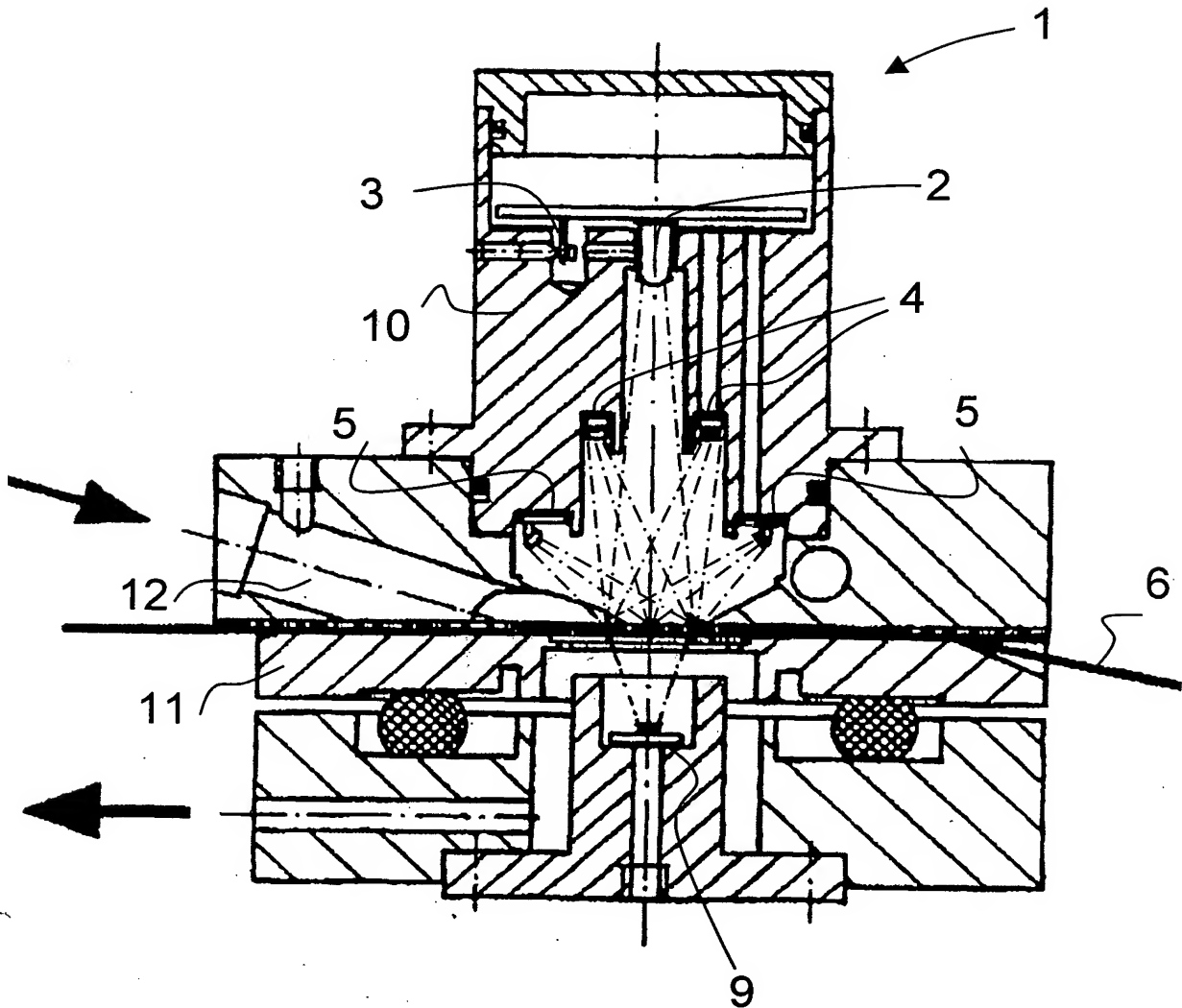
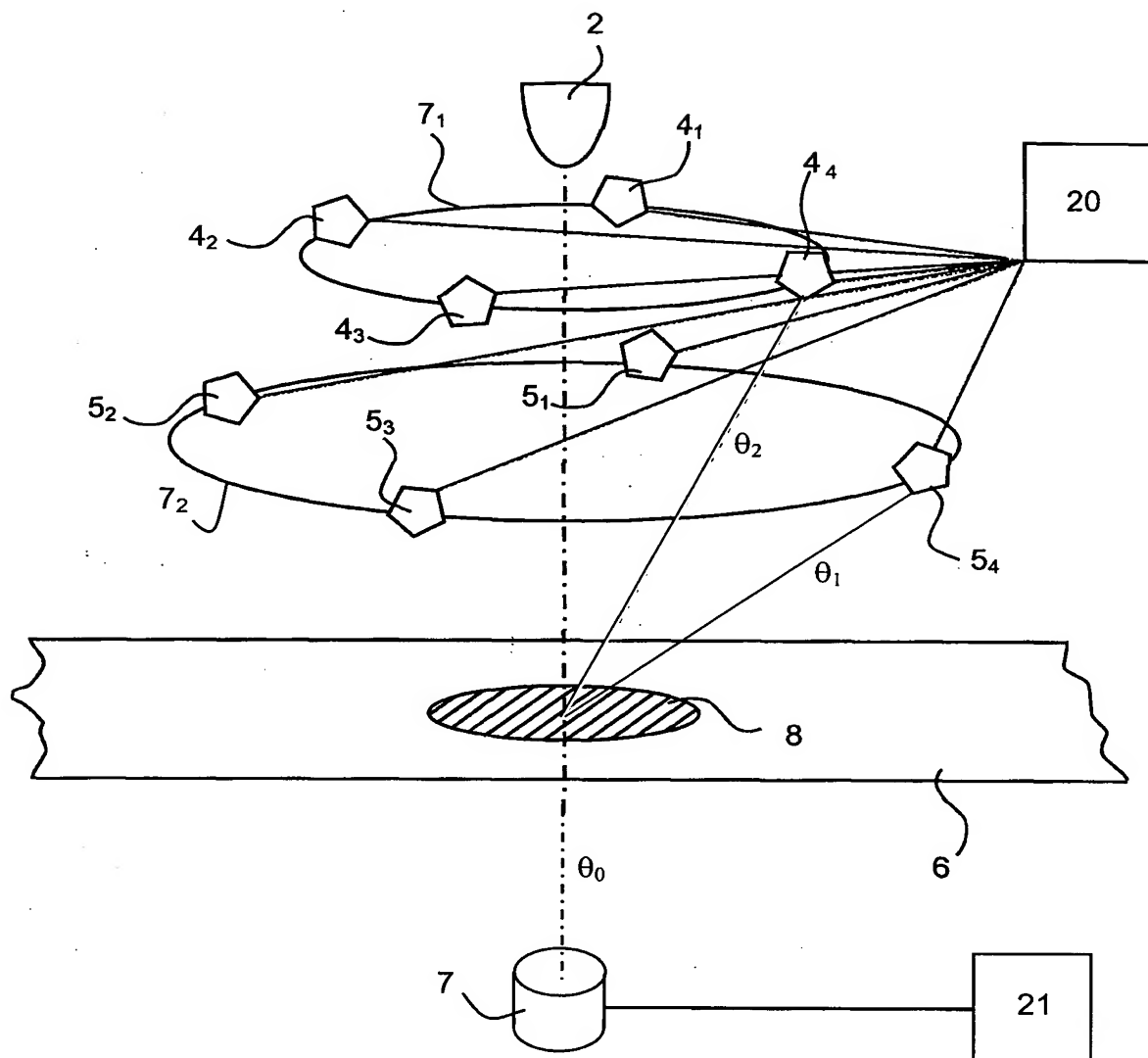


Fig.2



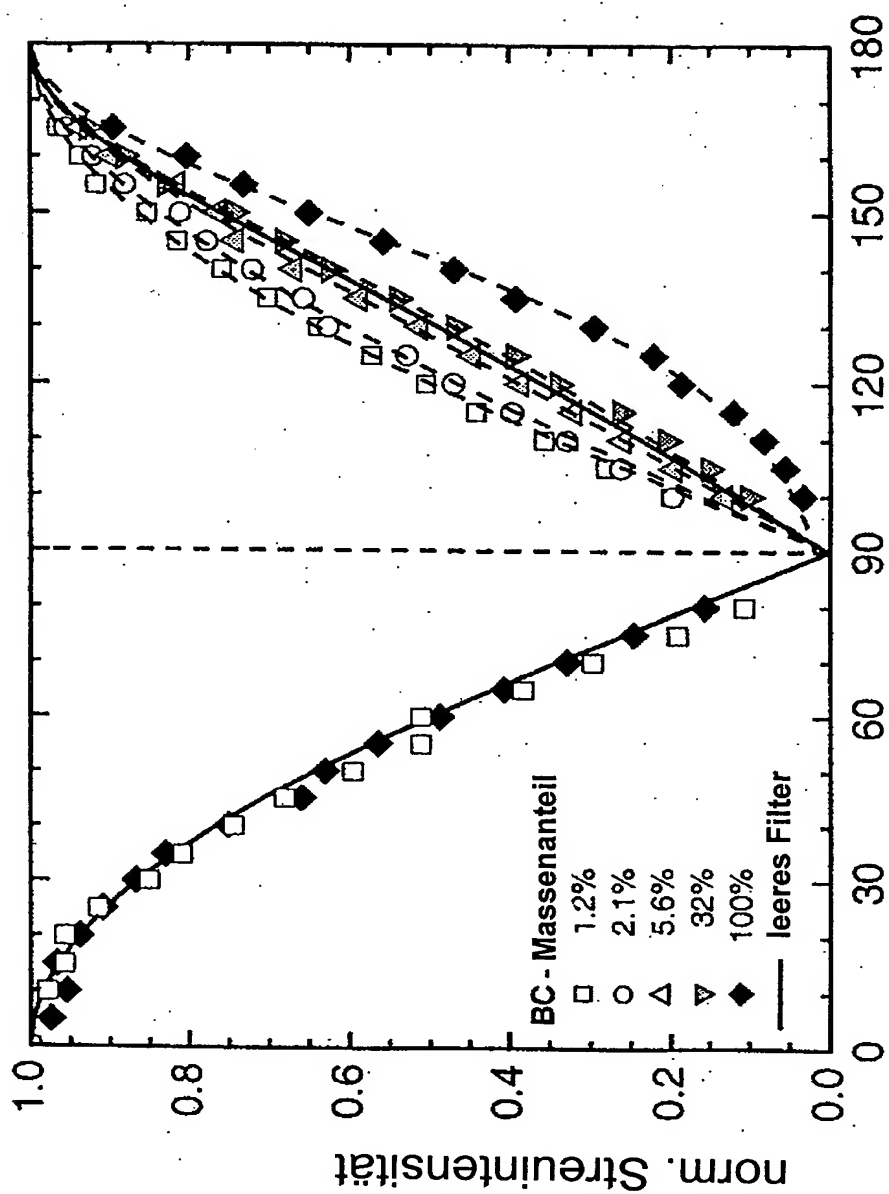


Fig.3

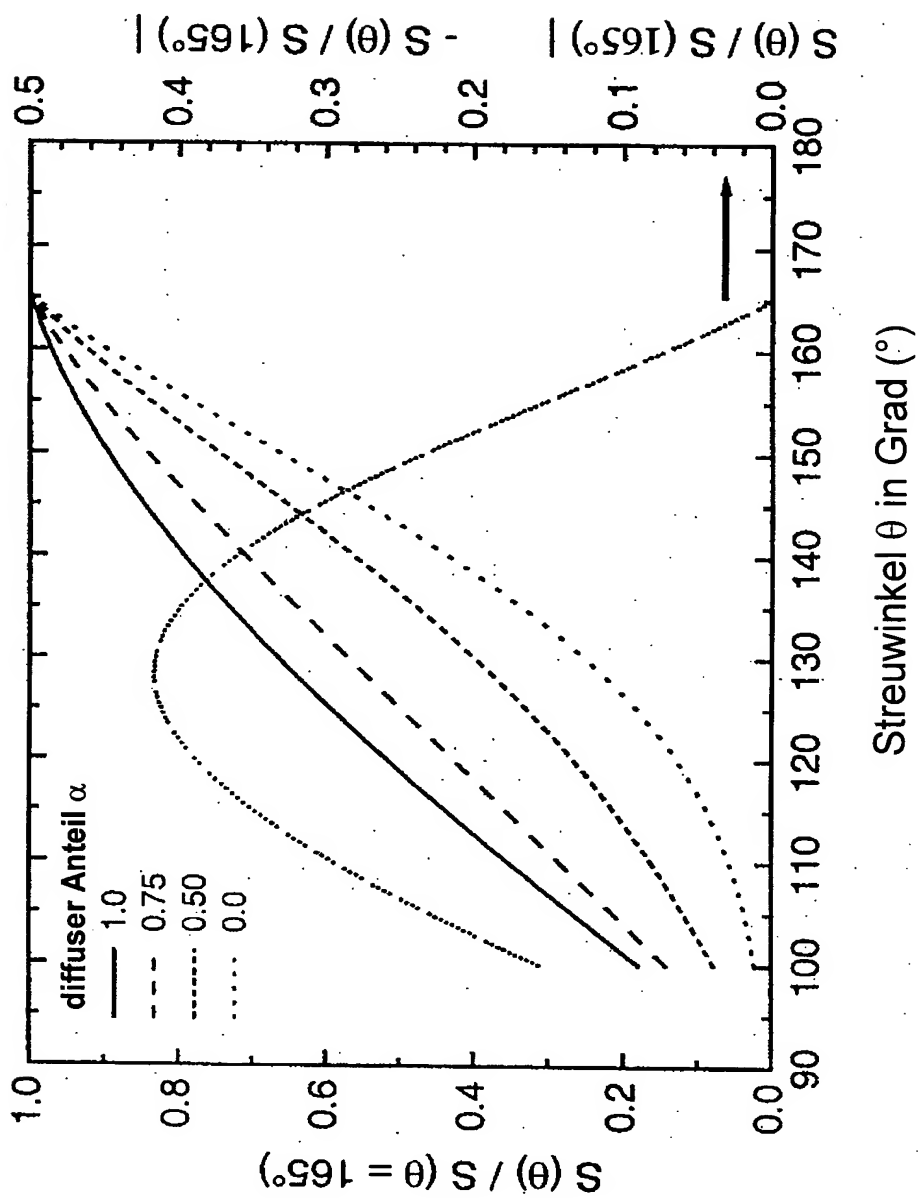


Fig.4

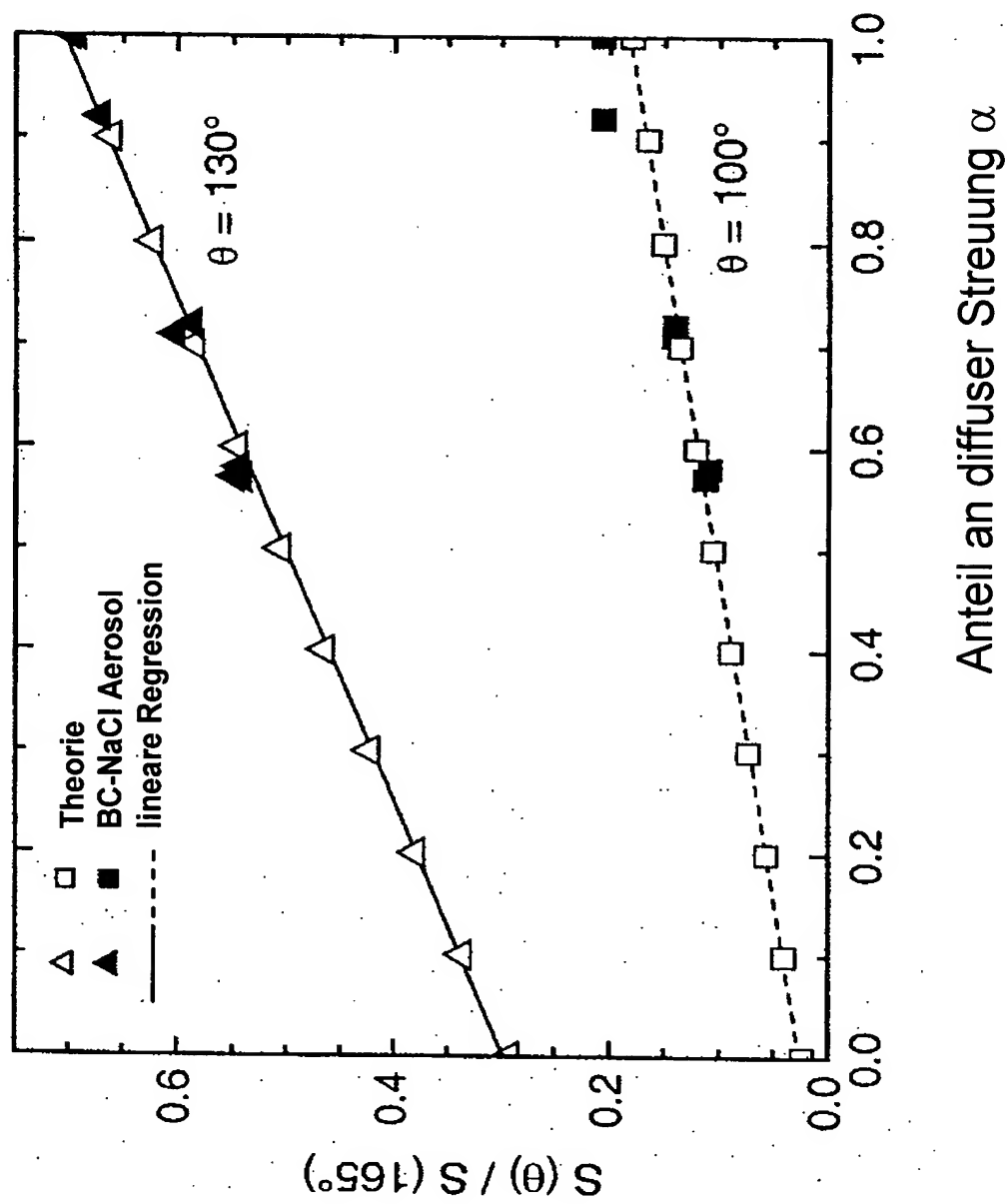


Fig.5

Anteil an diffuser Streuung α

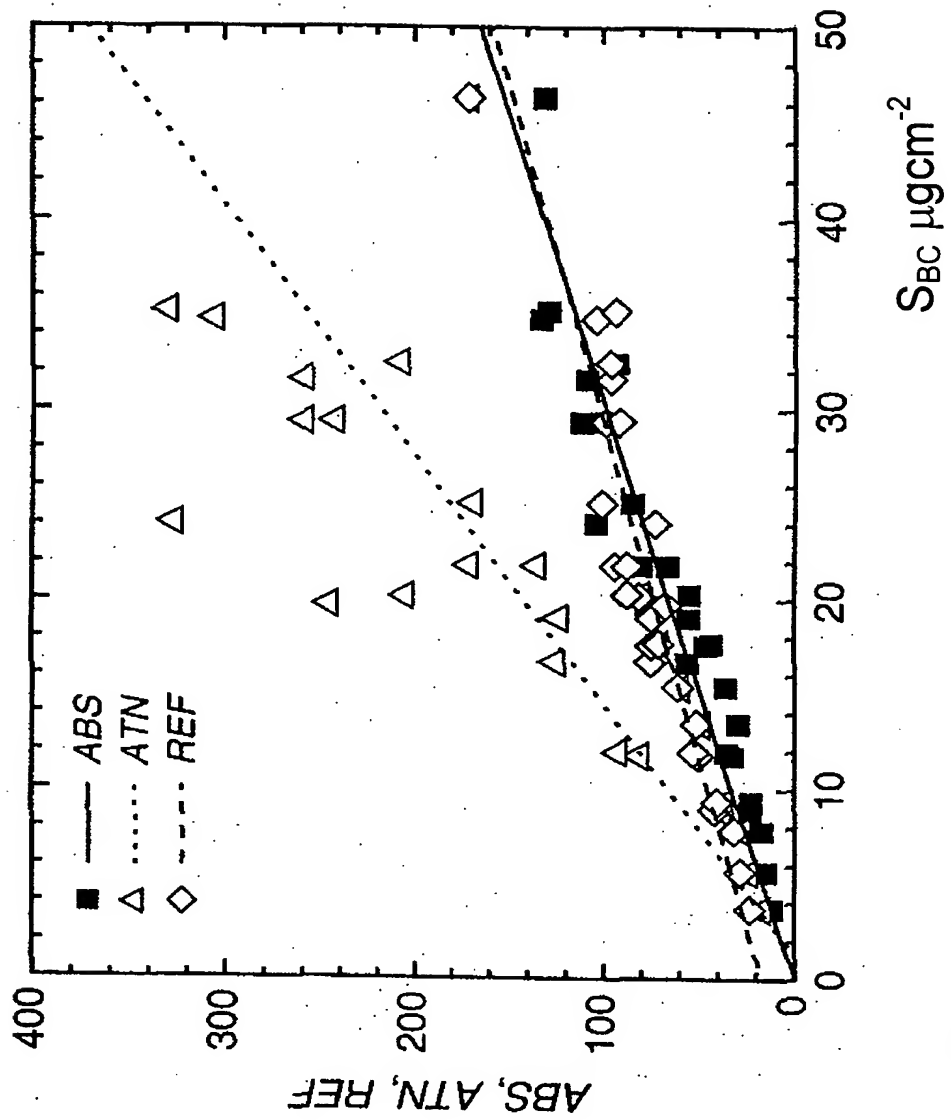


Fig.6